

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Тема: **Развитие и проблемы роста сетей абонентского доступа.**

### Учебные вопросы:

1. Развитие сетей доступа на базе асинхронных технологий и задачи сети.
2. Структурирование сетей.
3. Возникающие проблемы роста и способы преодоления этих проблем.
4. Проблемы и вопросы синхронизации сетей и устройств.

### Литература:

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943
2. RFC 6513 Multicast in MPLS/BGP IP VPNs

Вопрос о развитии и модернизации любой сети связи появляется одновременно с возникновением такой сети, так как существование сети - это необходимость подключения новых абонентов, оборудования для новых услуг и сервисов, как абонентских, так и связанных с эксплуатацией самой сети и ее оборудования. А в условиях интенсивного развития технологий особенно важно. Появляются дополнительные и новые функциональные возможности в абонентских устройствах, оборудовании доступа и так далее . . . Это новые версии встроенного (прошивки) и внешнего ПО, новые модификации . . . Поэтому вопрос развития, как и проблемы с ним связанные, остановить невозможно.

### *Развитие сетей доступа на базе асинхронных технологий.*

Развитие сетей доступа, как и любых других сетей связи общего пользования должно предусматривать выполнение требований на соответствие техническим норм на показатели качества функционирования и требования к совместимости (функциональной и физической) оборудования связи, образующего разные технологические уровни, установленные отраслью или оператором связи. То есть предусматривать весь комплекс организационно-технических мероприятий и требований к ним в соответствии с руководящими документами государства, отрасли и предприятия.

Особое внимание с точки зрения развития необходимо уделить следующим вопросам:

- требованиям к обеспечению совместимости и целостности сети, как части ССОП;
- требованиям к надежности;
- требованиям к обеспечению вызова экстренных оперативных служб;
- требованиям к гарантированному питанию оборудования сети доступа, возможно и пользовательскому;
- требованиям к обеспечению безопасности сети связи;
- требованиям к организации точек присоединения;
- требованиям к обеспечению СОРМ;

- требованиям к нумерации, системам адресации;
- требованиям к обеспечению системы единого времени;
- требованиям к сбору статистической информации.

В то же время для удобства решения эксплуатационных вопросов и качественного обслуживания абонентов сети необходима *унификация услуг и технических решений* для их реализации, при этом обязательно необходима выработка единой политики построения самих сетей на разных технологических уровнях. Обязательно требуется определить *принципы оказания услуг, настройки и типы* используемого для этого *оборудования*.

Из всех перечисленных требований вытекают и задачи операторских сетей, включая в себя и сети абонентского доступа:

- обеспечить высокоскоростную передачу агрегированных потоков трафика между узлами муниципального и верхнего регионального уровня;
- транспортировать как unicast и multicast пакеты IPv4/IPv6, так и MPLS пакеты (обеспечить Р-функциональность сети);
- предоставить различные классы обслуживания для передаваемого трафика;
- обеспечить отказоустойчивость сети связи;
- обеспечить возможность наращивания производительности сети — как по трафику, так и по абонентской емкости;
- предоставлять весь комплекс услуг связи для разных категорий потребителей на всей зоне обслуживания;
- подключать пиринг-партнёров регионального и муниципального уровня и нижестоящих операторов.

### **Структурирование сетей.**

Структурирование сетей позволяет обеспечить высокую доступность услуг и сервисов в операторских сетях. Резервирование — обеспечить повышенную надежность и уменьшить время реагирования сети. Вопросы структурирования в сетях связи отражают принципы функционирования операторской сети в зависимости от работоспособности узлов, линий связи, магистралей и т. д., и характеризуют способность сети оказывать услуги связи и находить маршруты доставки трафика и услуг в условиях потери связности элементов сети.

Рассматривая ядро операторской сети как основной сервисный узел, необходимо обеспечить для него исполнение следующих функциональных возможностей:

- Обеспечение подключения абонентов ко всем услугам и сервисам;
- Агрегация сервисных подключений, включая местный контент;
- Маршрутизация трафика;
- Обеспечение QoS на границе сети;
- Обеспечение защиты на границе сети;
- Обеспечение резервирования сервисных подключений.

Любой сервисный узел (СУ) должен содержать в обязательном порядке хотя бы один маршрутизатор BPE и один маршрутизатор BRAS.

Резервирование BRAS, при необходимости, осуществляется по схеме N+1, при этом нагрузка распределяется между всеми устройствами, при выходе одного BRAS

из строя все активные в момент аварии абоненты должны распределиться между работающими устройствами, при этом возможна деградация скорости подключения абонентов.

Резервирование ВРЕ осуществляется по схеме 1+1 (сервисные подключения, для которых необходимо резервирование, дублируются на всех маршрутизаторах). Не рекомендуется применять промежуточные коммутаторы для агрегации интерфейсов BRAS и ВРЕ, следует, по возможности, использовать прямые интерфейсные подключения к сервисным маршрутизаторам. Необходимо на уровне СУ как можно ближе к абоненту разделить трафик с разной «ценностью» - трафик услуг ШПД не должен делить общие ресурсы с VPN трафиком. Поэтому, если использование агрегирующих коммутаторов на СУ является необходимым в период миграционных процессов или силу нехватки интерфейсов, то для ВРЕ и BRAS надо использовать отдельные агрегационные коммутаторы, так чтобы трафик с высокой и низкой стоимостью не пересекался на L2 уровне.

*Функционал сервисных маршрутизаторов BRAS и ВРЕ.*

Маршрутизатор BRAS предназначен для:

- Предоставления доступа в сеть Интернет для абонентов ШПД;
- Агрегации трафика абонентов;
- Применения политики предоставления услуг доступа к сети Интернет (безопасность, авторизация, выделение адресов, ограничение скорости доступа и т.п)
- Оптимальной маршрутизации трафика.

Основная специализация BRAS – предоставление динамического (по требованию) доступа для большого количества абонентов.

Маршрутизатор ВРЕ предназначен для:

- Предоставления доступа к услугам L2 и L3 VPN для абонентов;
- Предоставление услуги доступа в интернет для крупных потребителей;
- Агрегации трафика абонентов;
- Применения политики предоставления услуг доступа к сети Интернет (безопасность, авторизация, выделение адресов, ограничение скорости доступа и т.п)
- Обеспечения иерархического QoS на границе сети;
- Обеспечения оптимальной маршрутизации трафика в сети.

Основное предназначение ВРЕ - предоставление статического доступа к услугам для корпоративных клиентов (абонентов). Для того, чтобы обеспечить резервированное подключение к услугам в состав регионального сегмента должны входить как минимум два ВРЕ. По возможности они должны быть установлены на разных площадках. Оба ВРЕ должны взаимно резервировать друг друга. DR (Designated Router)

Для распространения трафика IP Multicast применяется технология Multicast VPN, описанная в [RFC6513]. Маршрутизаторы сервисных узлов ВРЕ и BRAS не участвуют в маршрутизации мультикаст трафика. Доставка мультикаст трафика до сети филиала как с федеральных так и с муниципальных источников производится непосредственно на интерфейсы DR (Designated Router) – выделенного маршрутизатора в сети оператора продублированного резервным выделенный маршрутизатором (backup designated router, BDR). От устройств IP/MPLS агрегации

трафик IP Multicast доставляется на устройства концентрации и доступа в одном Multicast VLAN, в котором используется технология IGMP Snooping.

Применение перечисленных выше принципов построения сервисного ядра сети позволит обеспечить высокую доступность сети оператора.

#### *Предоставление услуг*

Лучше, если услуга L3 VPN предоставляется на ВРЕ. Если по каким-то причинам ВРЕ на узле СУ отсутствует, услугу в варианте без резервирования можно предоставлять и на BRAS. Абонентами услуги чаще являются юридические лица.

Предоставление услуги при непосредственном подключении оборудования абонента к ВРЕ осуществляется согласно принятым у оператора процедурам.

При подключении абонента к оборудованию оператора, сеть оператора предоставляет прозрачное транспортное L2 соединение (PWE, псевдопровод) между ВРЕ и СРЕ. Между DR и ВРЕ организуется 802.1q Ethernet соединение. Каждое абонентское СРЕ мапируется в отдельный VLAN. Для передачи более чем 4096 VLAN возможно применение двойного тегирования (4096x4096 VLAN), в этом случае DR и ВРЕ должны уметь добавлять и снимать по 2 VLAN тега.

IPv4 адреса из сети /30 назначаются на соответствующем данному VLAN сабинтерфейсе ВРЕ и на СРЕ. На ВРЕ IP интерфейс помещается в VPN требуемой конфигурации. Применяются существующие в СПД РТК правила и процедуры для создания VPN на ВРЕ. В соответствии с заключенным с абонентом соглашением SLA на порту ВРЕ применяется профиль QoS.

Возможны два варианта организации обмена маршрутной информацией между ВРЕ и СРЕ (оборудование на стороне абонента):

- динамическая маршрутизация;
- статическая маршрутизация.

При реализации подключения возможно применение как основного, так и резервного подключения СРЕ абонента непосредственно к ВРЕ. *Резервирование подключения абонентского СРЕ* реализуется путем выделения второго VLAN в сети оператора для подключения СРЕ вторым VLAN прозрачно через сеть доступа или коммутатор агрегации сети доступа к резервному ВРЕ (естественно при его наличии) и прокладки второго псевдопровода для транспортировки данного VLAN через сеть оператора. Для каждого абонента сервисные псевдопровода должны быть проложены по различным физическим трассам, чтобы исключить обрыв обоих псевдопроводов при аварии одного из каналов в сети агрегации доступа оператора.

При наличии технической возможности в сети филиала рекомендуется «приземлять» абонентские VLAN на различных PE-AGG маршрутизаторах или маршрутизирующих коммутаторах, применяемых на сети доступа для районирования сетей. На участке СРЕ – ВРЕ возможны два способа маршрутизации трафика:

1. BGP маршрутизация.

2. Статическая маршрутизация с включенной опцией обнаружения неисправности канала с помощью протокола BFD.

#### *Особенность предоставления услуг для абонентов*

Маркирование трафика клиента традиционно производится на SE-устройстве (дополнительное VoIP-устройство – шлюз, встроенный шлюз или IP-фон, для IPTV обычно STB - IP-транскодер) по полям DSCP или 802.1p. У некоторых операторов услуги VoIP и IPTV могут оказываться без обязательного наличия у клиента SE-

устройства, в этом случае маркирование трафика должно осуществляться на коммутаторах доступа в соответствии с портами подключения.

### *Синхронизация времени*

Синхронизация времени в операторской сети осуществляется с помощью протокола NTP. Все устройства ядра, магистральной сети и сети доступа синхронизируются от двух серверов в сегменте управления сетью, один из которых является основным, а второй резервным и которые, в свою очередь, синхронизируются от назначенных серверов в сети Интернет.

### *Транспортные и магистральные сети*

Транспортные сети оператора связи предназначены для доставки трафика и услуг к сетям более низкого уровня иерархии или узлам доступа такого же уровня и создаются на базе магистральных сетей связи с топологией "кольцо" или "множественные кольца", образованных ВОЛС. В качестве технологий магистральной сети связи рекомендуется использовать xWDM, POS.

Для обеспечения требуемого качества услуг трафик должен передаваться в разных физических или виртуальных соединениях системы передачи (отдельном STM, по отдельной длине волны, в отдельной VLAN). Передача трафика разных категорий качества по разным соединениям позволяет избежать задержек, связанных с формированием очередей пакетов в маршрутизаторе, а также исключить влияние очередей друг на друга.

Транспортные сети связи должны создаваться по топологии "каждый с каждым" на уровне соединений системы передачи. При этом совокупная задержка обработки пакета в маршрутизаторах транспортной сети связи не должна превышать 28мс. Транспортную сеть связи с числом маршрутизаторов более девяти рекомендуется организовывать по иерархической схеме. Маршрутизаторы первого уровня иерархии соединяются по топологии "каждый с каждым" на уровне соединений системы передачи. Привязка маршрутизаторов второго уровня иерархии осуществляется по независимым линиям связи к двум маршрутизаторам первого уровня иерархии.

В случае соединения маршрутизаторов транспортных сетей связи по одной линии связи, надежность сети связи обеспечивается путем организации резервного маршрута с использованием соединения между маршрутизаторами более низшего уровня иерархии транспортной сети связи. Предпочтительным является первый способ, поскольку как при передаче информации по основному маршруту, так и при переходе на резервный маршрут, суммарная задержка обработки пакета в маршрутизаторах одинакова. При втором способе, при переходе на резервный маршрут эта задержка увеличивается вдвое.

В транспортных сетях связи рекомендуется использовать протоколы MPLS и OSPF, что направлено на обеспечение надежности сети связи, снижение сетевой задержки, упрощение конфигурации и обслуживания сети связи. Обеспечение надежности достигается использованием механизмов протоколов MPLS и OSPF по перемаршрутизации трафика в случае аварий. Снижение сетевой задержки обусловлено свойствами протоколов MPLS, обеспечивающими коммутацию пакетов IP без анализа их заголовка. Упрощение конфигурации и обслуживания сети связи обеспечивается за счет автоматизации управления трафиком, предусмотренной в протоколе OSPF.

В транспортных сетях связи при отказе маршрутизатора или линии связи должен осуществляться переход на резервный маршрут с помощью механизма Fast Reroute протокола MPLS. Резервирование линий связи должно обеспечиваться средствами систем передачи.

В транспортных сетях связи должно применяться оборудование, обеспечивающее сохранение возможности обслуживания телефонной нагрузки в условиях атак DoS со стороны сети Интернет.

Муниципальные и городские транспортные сети связи должны создаваться по топологиям "кольцо" или "звезда". При этом рекомендуется создавать два разнесенных узла, к которым осуществляется подключение узлов муниципальной или городской транспортной сети связи по двум независимым линиям связи. Целесообразно, чтобы узлы муниципальных транспортных сетей связи, подключаемые к узлам более высокой иерархии транспортной сети связи, резервировали друг друга. В муниципальной транспортной сети связи предпочтительнее использовать технологии Ethernet поверх системы передачи, что при отсутствии маршрутизации в транспортной сети позволяет упростить конфигурацию и обслуживание оборудования. Муниципальные сети должны обеспечивать перенос различного типа трафика с разными классами услуг в соответствующих VLAN.

### ***Возникающие проблемы роста и способы преодоления этих проблем.***

Основные проблемы роста сетей, прежде всего сетей абонентского доступа, связаны с проблемой "окончания свободных портов" и применения принципов присоединения оборудования доступа в свободный "абонентский порт" или с нарушением уровней иерархии оборудования. Обычно такие решения в ходе эксплуатации сетей называют временными, что называется для "подхвата абонентов", но вовремя не проведенная по вышеуказанным принципам структуризация или реструктуризация сети, очень часто приводит к частичной или иногда полной потере доступа абонентов к услуге. Также, это очень часто приводит к изменению нагрузочной способности в сети в связи с повышением объема служебного трафика. За этим необходимо следить всегда и недопускать частого применения таких временных решений. Лучше заранее реструктурировать сеть и иметь зарезервированные порты для подключения дополнительного оборудования доступа в сеть на нужном уровне иерархии.

Еще одной, часто встречающейся проблемой на сетях доступа, является проблема потери синхронизации оборудованием при переключении с резервного пути на основной. Связана она с недостаточной проработкой этого вопроса и недостаточным количеством источников синхронизации или неправильной последовательностью их применения. Эта информация обычно размечается в базах или файлах конфигурации оборудования. Устраняется такая проблема дополнением списка источников синхронизации и правильным указанием последовательности их применения. Проведение испытаний по правильному переключению источников синхронизации в обязательном порядке должно проводиться до подачи в оборудование абонентского трафика. В случае невозможности проведения такого испытания на "живом" оборудовании, необходимо собрать имитационный стенд и

провести испытание на стенде и только после этого вносить изменения в конфигурацию действующего на сети оборудования.

### **Проблемы и вопросы синхронизации сетей и устройств**

Перечень основных нормативных документов регламентирующих требования к синхронизации сетей:

- Правила применения оборудования тактовой сетевой синхронизации (утверждены приказом Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 7 декабря 2006 года №161);
- Требования к построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации (утверждены приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 2 марта 2009 года №31);
- Рекомендация ITU-T G.781 «Synchronization layer functions» (06/1999);
- Рекомендация ITU-T G.811 «Timing characteristics of primary reference clocks» (09/1997);
- Рекомендация ITU-T G.812 «Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks» (06/2004);
- Рекомендация ITU-T G.813 «Timing characteristics of SDH equipment slave clocks» (03/2003);
- Рекомендация ITU-T G.822 «Controlled slip rate objectives on an international digital connection» (11/1988).

### **Принципы построения сети синхронизации**

Традиционно на сетях операторов связи используется метод синхронизации по принципу «ведущий – ведомый».

Данный метод синхронизации использует иерархию задающих генераторов, в которой каждый уровень иерархии синхронизируется от эталона более высокого уровня. Эталонные сигналы частоты передаются от одного уровня иерархии к другому через сеть распространения, которая использует в качестве основы транспортную сеть.

Задающий генератор, находящийся в режиме удержания, может использоваться для синхронизации оборудования только своего уровня иерархии, синхронизировать от него оборудование более высокого уровня иерархии недопустимо.

Таблица 1. Уровни иерархии задающих генераторов

<b>Уровень иерархии</b>	<b>Номер рекомендации ITU-T, определяющий характеристики задающего генератора</b>
ПЭГ - первичный эталонный генератор ПЭИ - первичный эталонный источник	G.811
ВЗГ - вторичный задающий генератор	G.812 (тип I)
МЗГ - местный задающий генератор	G.812 (тип VI)
ГСЭ - генератор сетевого элемента СЦИ	G.813

## Режимы синхронизации

### Синхронный

В синхронном режиме все задающие генераторы сети синхронизируются от одного ПЭГ, при этом проскальзывания происходят пренебрежимо редко и носят случайный характер. Это нормальный режим работы сети. Этот режим используется в пределах одного региона синхронизации.

### Псевдосинхронный

В псевдосинхронном режиме задающие генераторы сети синхронизируются от разных ПЭГ, при этом происходит не более одного проскальзывания за 70 суток, что не оказывает влияния на качество связи. Это нормальный режим работы сети. На сети операторов связи псевдосинхронный режим используется между регионами синхронизации и при взаимодействии с сетями связи других операторов.

### Плезиохронный

Плезиохронный режим работы возникает, когда генератор ведомого узла полностью теряет возможность синхронизации вследствие отказов как основного, так и всех резервных путей синхронизации, и переходит в режим удержания или свободных колебаний. Это аварийный режим работы сети. Для соблюдения норм рекомендации ITU-T G.822 по частоте проскальзываний длительность работы в плезиохронном режиме жестко ограничена по времени.

### Асинхронный

Асинхронный режим характеризуется значительно большим расхождением частот задающих генераторов, вызывает отказ работы оборудования СЦИ (синхронная цифровая иерархия) и на сети операторов связи не применяется.

## Внутриузловая и межузловая синхронизация

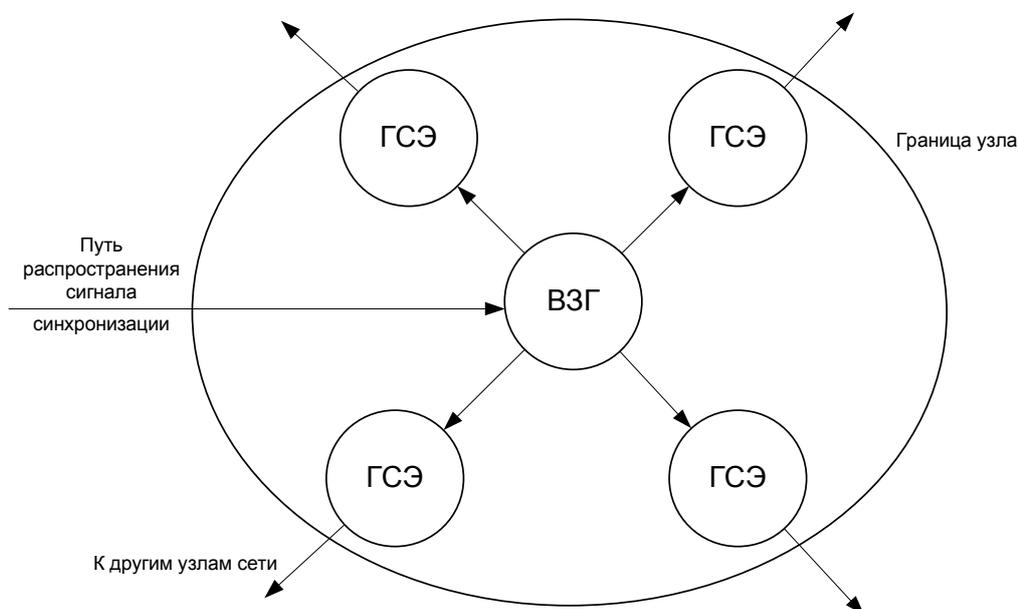


Рис. 1. Распределение сигналов синхронизации внутри узла.

Внутриузловое распределение сигналов синхронизации для узлов доступа, содержащих ВЗГ, осуществляется по логической топологии «звезда». Все задающие генераторы внутри узла получают сигнал синхронизации от ВЗГ. Исключение может быть сделано только для ГСЭ, от которого синхронизируется сам ВЗГ.

Если на узле отсутствует ВЗГ или МЗГ, то во избежание последовательного включения сетевых элементов узла необходима установка РСС — оборудование распределения сигнала синхронизации.

Межузловое распределение сигналов синхронизации осуществляется по логической топологии «дерево», включающей все узлы сети. При этой архитектуре для правильной работы сети синхронизации должны соблюдаться следующие условия:

- задающие генераторы низшего иерархического уровня только принимают сигналы синхронизации от генераторов того же или высшего иерархического уровня;
- отсутствуют петли сигналов синхронизации;
- оба этих условия соблюдаются при автоматическом переключении на резервные пути распространения сигнала синхронизации.

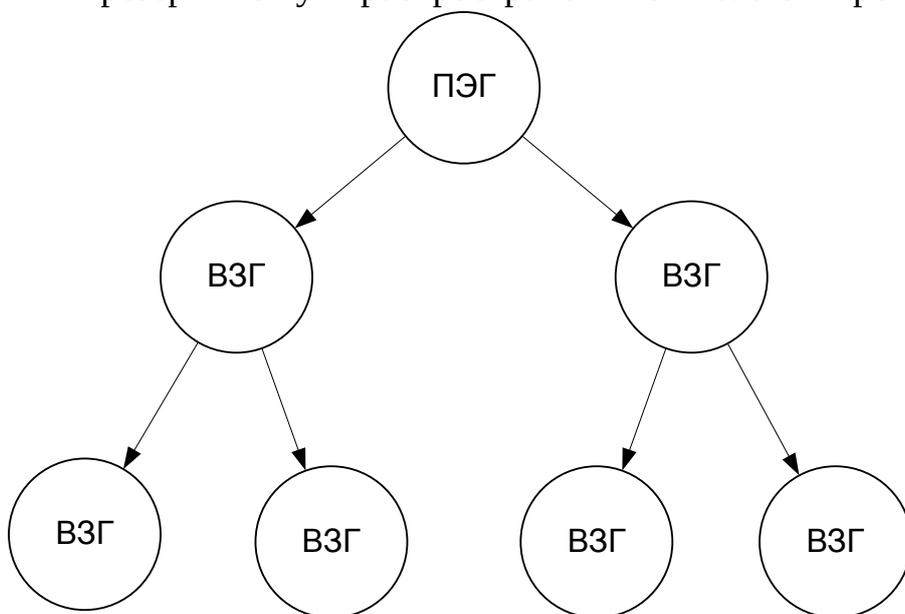


Рис. 2. Межузловое распределение сигналов синхронизации.

Сигнал синхронизации распределяется посредством метода «ведущий – ведомый» от ПЭГ ко всем задающим генераторам цепи.

Во всех случаях качество сигналов синхронизации ухудшается с увеличением числа последовательно соединенных синхронизированных генераторов. Поэтому распространение сигнала синхронизации должно происходить по кратчайшему маршруту через минимальное число промежуточных пунктов с возможно более высоким уровнем иерархии систем передачи, отдавая предпочтение волоконно-оптическим линиям связи перед цифровыми радиорелейными линиями.

Для наихудшего случая цепи синхронизации значение  $K$  - число последовательно стоящих ВЗГ от ПЭГ не должно превышать 10, значение  $N$  - число последовательно стоящих ГСЭ от ВЗГ или ПЭГ не должно превышать 20, общее количество последовательно синхронизируемых элементов сети не должно превышать 60. В этом случае на последнем элементе цепи будет обеспечено

необходимое качество сигнала синхронизации, определенное Требованиями к построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации, утвержденными приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 2 марта 2009 года №31.

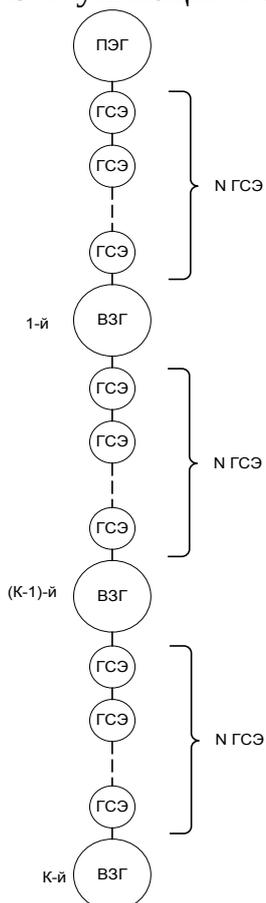


Рис. 3. Последовательное распределение сигнала синхронизации.

Каждый элемент цепи синхронизации должен получать как минимум два сигнала синхронизации (основной и резервный), по возможности распространяющихся по разнесенным трассам. При пропадании основного сигнала (первого приоритета) задающий генератор должен автоматически переключаться на резервный сигнал (второго, третьего и т.д.) приоритета. При этом задающий генератор должен выбирать резервный сигнал, имеющий более высокий уровень иерархии из доступных ему на данный момент.

Для обеспечения выбора сигнала синхронизации с наиболее высоким уровнем иерархии (в том числе при аварии) используется механизм маркировки уровня качества сигналов синхронизации – SSM - Synchronization Status Messages – сообщение о статусе синхронизации в соответствии с рекомендацией ITU-T G.781.

Основной и резервный пути распространения сигнала синхронизации должны иметь по возможности одно направление, чтобы в процессе реконфигурации (в случае аварии) участвовало наименьшее количество ГСЭ.